



Campionati di FISICA

Soluzione

LED \rightsquigarrow LDR

Quesito n. 0.

Dal confronto delle figure Fig.3a, Fig.3b, Fig.3c e Fig.7, o come si può direttamente dedurre agendo con le precauzioni necessarie sul potenziometro, la rotazione a fine corsa in senso antiorario - per chi osserva il potenziometro dall'alto - permette di ottenere la condizione di tensione nulla ai capi del LED.

Quesito n. 1.

Per queste misure è importante aspettare che l'apparato sperimentale raggiunga una condizione di risposta stabile dopo che è stato cambiato il valore dell'intensità di corrente. Si misurano dapprima i e V ai capi del LED e, successivamente, si spostano i puntali dal LED al fotoresistore e si ruota il *selettore di funzioni* del multimetro per effettuare la misura di resistenza sulla portata indicata nel testo. La fase di misura di i e V può tranquillamente essere condotta senza schermare la zona di banco ottico che va dal LED all'LDR. Invece, la misura di resistenza deve essere eseguita usando gli schermi costruiti col cartoncino nero. L'operazione può essere completata con l'uso delle mani per impedire alla luce ambiente di entrare attraverso le aperture laterali del *tunnel* di schermaggio.

Il potenziometro va usato tenendo presente che si possono avere variazioni di intensità di corrente anche per piccole variazioni di tensione (nella zona di tratto *rettilineo* della curva caratteristica - vedi la Fig.1c del testo - le variazioni sono di diversi mA per variazioni di uno, due, centesimi di volt). La Fig.1c del testo è un utile suggerimento al riguardo. Procedendo con metodo si individua il valore fornito dall'amperometro quando la cifra dei centesimi di volt, fornita dal voltmetro, cambia stabilmente di una o due unità. Quindi si annotano in tabella le misure di corrente e tensione così ottenute. Assumendo questo metodo per tutte le misure si stabilisce un *criterio di uniformità*. In alternativa, si può azionare il potenziometro impostando un passo di variazione dell'intensità di corrente di qualche mA relazionato all'entità delle variazioni di tensione che la condizione di lavoro implica. Il primo metodo sarebbe essenziale qualora si volesse costruire la curva caratteristica del LED, tuttavia negli sviluppi successivi della prova questa richiesta non viene avanzata: l'impiego di i e V è quello di calcolare la potenza elettrica fornita al LED per cui anche il secondo metodo va ritenuto accettabile. Nella **Tabella 1** sono riportate le misure effettuate con una coppia di LED e LDR generica. Tutte le misure e/o i calcoli presenti nelle tabelle successive o nei grafici vanno riferite a tale coppia.

Il criterio scelto per questa sessione di misure è un ibrido tra i due descritti sopra. Il passo adottato per le variazioni di corrente è stato di circa 10 mA e, al contempo, è stata tenuta presente l'esigenza di effettuare le misure in corrispondenza della variazione della cifra dei centesimi di volt (uno, due o più di due a seconda della necessità).

NOTA: I valori sono puramente indicativi poiché i LED impiegati nella prova, per quanto siano tutti contraddistinti dalla stessa sigla, non sono fisicamente tutti uguali tra loro. Analoga considerazione va fatta per gli LDR.⁽¹⁾

Tabella 1

i [mA]	V [V]	R [k Ω]
10.8	1.95	2.86
18.9	1.99	1.89
26.6	2.02	1.53
32.8	2.04	1.39
40.7	2.06	1.26
47.7	2.08	1.19
55.9	2.10	1.15
66.0	2.12	1.13
76.2	2.14	1.13
89.1	2.16	1.17
96.1	2.17	1.20

⁽¹⁾ In Appendice 1 sono riprodotte le fasce dei valori attesi per ognuno dei grafici richiesti.

Quesito n. 2.

Si vuole verificare la validità della (1) presente nel testo. Dalle informazioni fornite si ricava

$$R = \frac{1}{k} (d + D)^2$$

Si può pertanto risalire alla verifica richiesta graficando \sqrt{R} in funzione della distanza gomma-gomma d :

$$\sqrt{R} = (d + D)/\sqrt{k}$$

Infatti, se la (1) è corretta allora i punti sperimentali debbono allinearsi su una retta quando vengono rappresentati nel piano $(d; \sqrt{R})$. In tal caso sarà possibile calcolare il valore della costante k , e a quello della distanza D . Ovviamente le misure vanno effettuate mantenendo fissa l'intensità di corrente i . Inoltre, occorre stabilire quali valori di distanza d utilizzare per condurre le misure e quale valore dell'intensità di corrente impostare.

Chi si appresta a fare le misure deve gestire questi due parametri per poter raggiungere tre obiettivi:

1. **dovendo esplorare una legge di dipendenza dalla distanza è ovvio che occorra mappare un'ampia zona di distanze;**
2. ottenere un congruo numero di misure;
3. rispettare l'intervallo di resistenze misurate nel Q1.

Quello che NON deve essere fatto in questo contesto è procedere a caso! Dunque il problema è: con quali criteri si scelgono la corrente e il range di distanze esplorabili?

Si può procedere scegliendo la distanza massima tra le gomme consentita dall'apparato di misura (determinata dalle dimensioni dello schermaggio, dunque poco minore di 25 cm) e impostare la corrente LED per avere la R_{\max} ottenuta in Q1 o un valore leggermente superiore ad essa. Le misure successive si ottengono riducendo gradualmente la distanza (con un passo, ad esempio, di un centimetro) sino a raggiungere la distanza minima per cui si ottiene il primo valore di resistenza minore di R_{\min} .

Tuttavia, se la distanza iniziale è molto grande (~ 25 cm), occorre utilizzare un elevato valore della corrente LED che può indurre instabilità nel LED stesso (ci si accorge di ciò se l'amperometro inizia ad evidenziare la variazione della corrente in transito nel ramo contenente il LED).

In alternativa, si può scegliere di partire da una distanza tra le gomme relativamente piccola. Ad esempio, si può partire da $d = 10$ cm impostati in Q1, selezionare un valore della corrente che permette di ottenere il valore di R_{\min} ottenuta in Q1 (o un valore leggermente più piccolo). Quindi aumentare gradualmente la distanza d (ad esempio con un passo di 1 cm) fino a raggiungere la distanza massima per cui si ottiene il primo valore di resistenza maggiore di R_{\max} .

Tuttavia, non è dato di sapere a priori se il basso valore della corrente è sufficiente a rendere esplorabile un adeguato intervallo di distanze.

In linea di principio, volendo risolvere queste ambiguità, occorrerebbe fare un esperimento preliminare per capire come l'apparato risponde al metodo scelto.

Le misure descritte di seguito costituiscono un esempio in cui è stata impostata la distanza $d_{\max} = 18.0$ cm e regolata la corrente LED in modo che sull'ohmetro si leggesse un valore *leggermente* superiore a R_{\max} ⁽²⁾. L'intensità di corrente i necessaria è risultata uguale a 40.8 mA. La scelta della distanza d_{\max} ha consentito di ottenere 11 misure utili, di cui 9 appartenenti all'intervallo ottenuto in Q1. Durante le misure è stato controllato che la corrente LED rimanesse stabile ed è stata spostata la gomma con sopra l'LDR, mantenendo il passo di 1 cm, fino a raggiungere la distanza per cui il valore letto sull'ohmetro è risultato leggermente inferiore a R_{\min} .

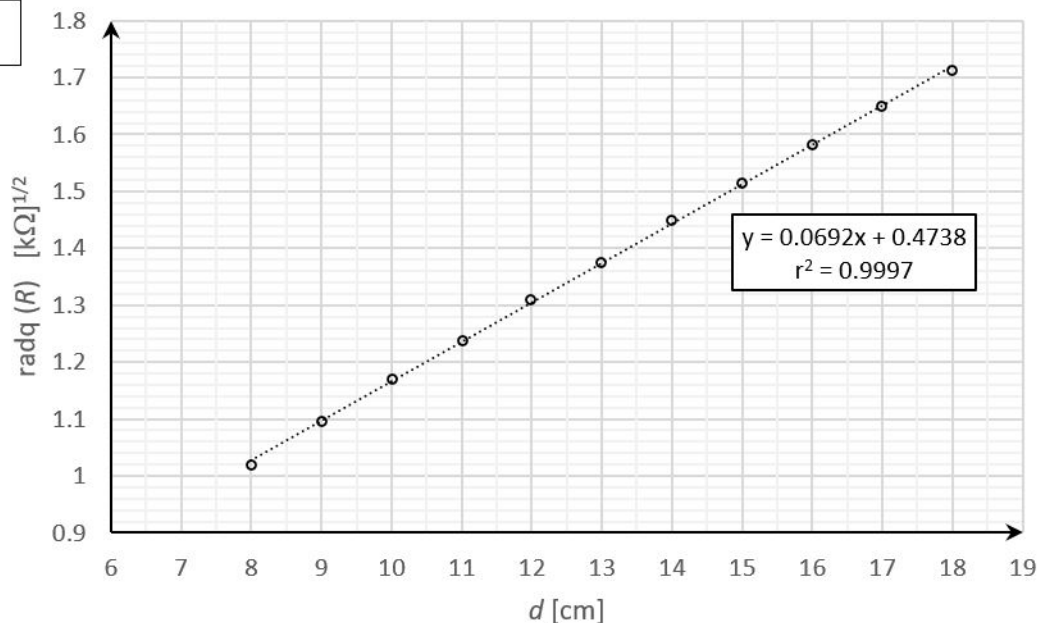
Tabella 2

$i = 40.8 \text{ mA}$		
$d \text{ [cm]}$	$R \text{ [k}\Omega\text{]}$	$\sqrt{R} \text{ [k}\Omega^{1/2}\text{]}$
8.0	1.04	1.020
9.0	1.20	1.095
10.0	1.37	1.170
11.0	1.53	1.237
12.0	1.71	1.308
13.0	1.89	1.375
14.0	2.10	1.449
15.0	2.29	1.513
16.0	2.50	1.581
17.0	2.72	1.649
18.0	2.94	1.715

Le unità di misura di k e $\sqrt{1/k}$ sono, rispettivamente, $\text{cm}^2 \text{k}\Omega^{-1}$ e $\text{k}\Omega^{1/2} \text{cm}^{-1}$.

⁽²⁾ Partendo con il LED a temperatura ambiente può essere necessario aspettare qualche minuto affinché la lettura dell'ohmetro e, in misura minore dell'amperometro, si stabilizzi.

Grafico Q.2



L'uso della calcolatrice facilita il calcolo dei parametri della retta e del coefficiente di correlazione r atto a definire l'accordo tra l'andamento dei punti con l'ipotesi di relazione lineare tra le grandezze graficate. Nel caso dell'esempio il test fornisce $r = 0.9998$ ($r^2 = 0.9997$), dunque è molto prossimo a 1, per cui la relazione (1) – e le ipotesi a cui è sottesa – può ragionevolmente ritenersi verificata nell'intervallo di resistenze LDR impiegato. Dal fit si ottiene (per le misure a cui l'esempio si riferisce).

$\sqrt{1/k}$	$0.0692 \text{ k}\Omega^{1/2} \text{ cm}^{-1}$
k	$209 \text{ cm}^2 \text{ k}\Omega^{-1}$
$D \sqrt{1/k}$	$0.474 \text{ k}\Omega^{1/2}$
D	6.9 cm

Quesito n. 3.

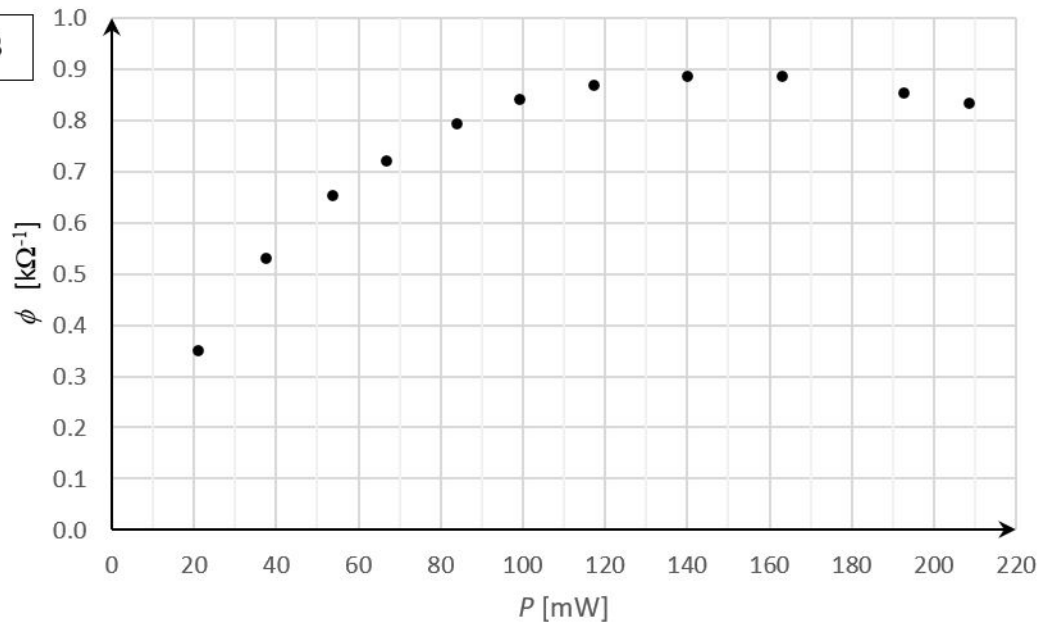
Si elaborano le misure ottenute rispondendo al Q1 e riportate nella corrispondente tabella.

La potenza elettrica fornita al LED va espressa in mW moltiplicando la tensione in V per l'intensità di corrente misurata in mA. Il valore di Φ si ottiene dal calcolo dell'inverso della resistenza R dell'LDR espressa in $\text{k}\Omega$ e, a sua volta, si esprime in $\text{k}\Omega^{-1}$. Nelle prime due colonne della Tabella 3 è riportato l'esito dei calcoli ottenuti. Nella terza colonna è riportato il calcolo del rapporto $\rho = \Phi/P$. Con i dati si costruiscono i grafici richiesti in Q4 e Q5.

Tabella 3

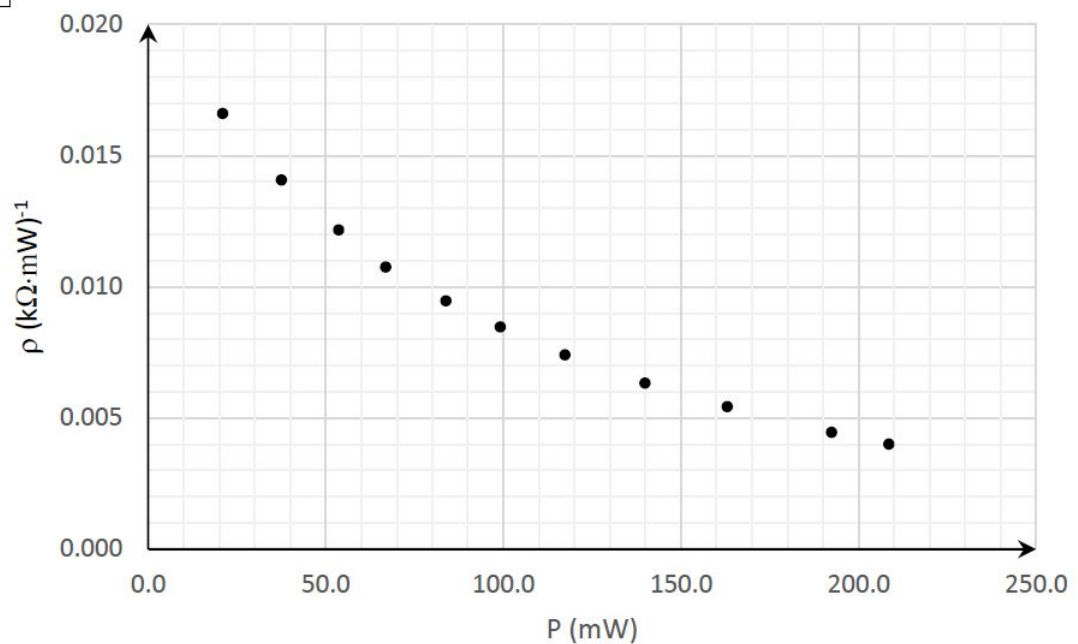
$P \text{ [mW]}$	$\Phi \text{ [k}\Omega^{-1}\text{]}$	$\rho \text{ [k}\Omega \text{ mW}^{-1}\text{]}$
21.1	0.350	0.0166
37.6	0.529	0.0141
53.7	0.654	0.0122
66.9	0.719	0.0108
83.8	0.794	0.0095
99.2	0.840	0.0085
117.4	0.870	0.0074
139.9	0.885	0.0063
163.1	0.885	0.0054
192.5	0.855	0.0044
208.5	0.833	0.0040

Grafico Q.3



Quesito n. 4.

Grafico Q.4



Quesito n. 5.

Per verificare che l'equazione

$$\Phi = \frac{aP}{P^{3/2} + b}$$

si adatta ai punti sperimentali basta riscriverla, ad esempio, nel modo seguente

$$\frac{P}{\Phi} = \frac{P^{3/2}}{a} + \frac{b}{a}$$

e graficare $y = P/\Phi$ in funzione di $x = P^{3/2}$.

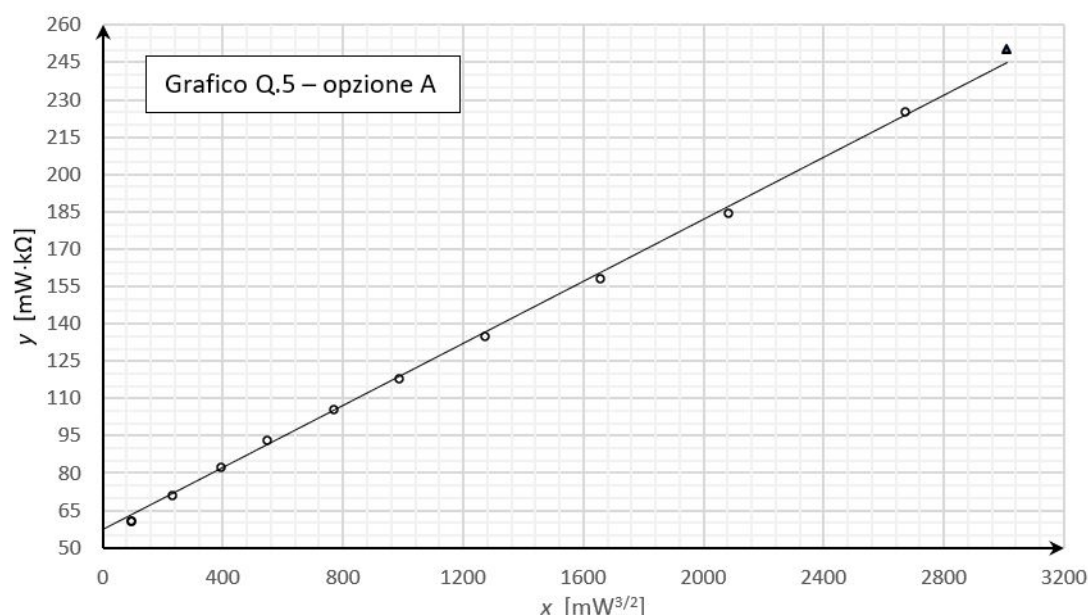
Per le unità di misura si ha

- P/Φ è espresso in $\text{mW k}\Omega$
- a è espresso in $\text{mW}^{1/2} \text{k}\Omega^{-1}$
- b è espresso in $\text{mW}^{3/2}$

In Tabella 4 sono riassunti i calcoli delle variabili x e y .

Tabella 4

x [$\text{mW}^{3/2}$]	y [$\text{mW k}\Omega$]
96.6	60.2
230.7	71.1
393.9	82.2
547.3	93.0
767.7	105.6
988.3	118.1
1271.9	135.0
1655.1	158.1
2082.3	184.3
2669.9	225.2
3011.4	250.2



Occorre dapprima riportare i punti sul piano cartesiano e stabilire se c'è o meno un sensibile allineamento tra essi, individuando al contempo la zona del grafico in cui ciò accade e l'intervallo dei valori della potenza P corrispondente. Eventuali scostamenti si possono verificare per valori molto alti di P per i quali il LED diventa instabile (come nel caso del punto contrassegnato con un triangolo del Grafico Q5).

Per tracciare la retta interpolatrice si può seguire il criterio di farla passare per il maggior numero di punti, lasciando tanti sopra quanti sotto. Oppure si possono usare le funzioni statistiche della calcolatrice introducendovi i punti appartenenti all'intervallo in cui l'allineamento è risultato evidente.

L'accordo è decisamente buono nell'intervallo di potenze (21.1 mW; 192.5 mW). Il punto più a destra, contrassegnato con un triangolo, non sembra rispettare l'allineamento che invece caratterizza gli altri.

Riepilogando, si ha

- Pendenza: $1/a = 0.0634 \text{ mW}^{-1/2} \text{k}\Omega$ da cui $a = 16.0 \text{ mW}^{1/2} \text{k}\Omega^{-1}$.
- Ordinata all'origine: $b/a = 55.8 \text{ mW k}\Omega$ da cui $b = 879 \text{ mW}^{3/2}$.

Un modo equivalente – e sicuramente più semplice – di procedere consiste nel riscrivere l'equazione empirica nella forma

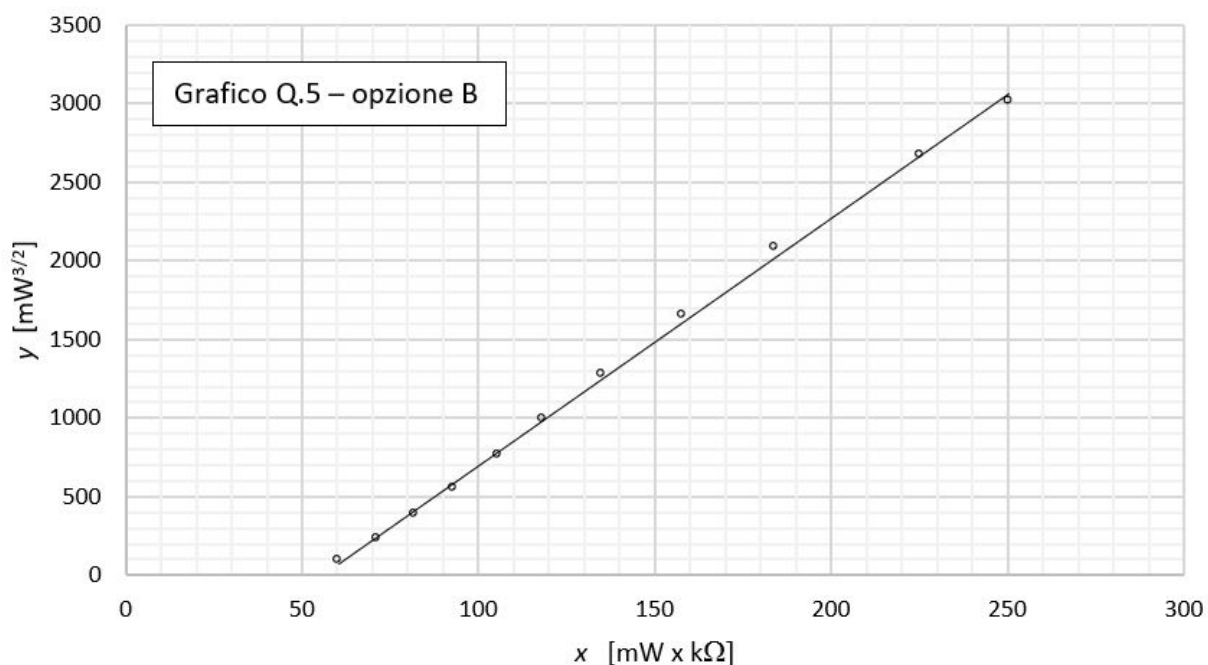
$$P^{3/2} = a \frac{P}{\Phi} - b$$

e graficare $y = P^{3/2}$ in funzione di $x = P/\Phi$.

In Tabella 4-bis sono riassunti i valori calcolati delle variabili x e y .

Tabella 4-bis

x [mW k Ω]	y [mW ^{3/2}]
60.2	96.6
71.1	230.7
82.2	393.9
93.0	547.3
105.6	767.7
118.1	988.3
135.0	1271.9
158.1	1655.1
184.3	2082.3
225.2	2669.9
250.2	3011.4



In questo caso si ha

- Pendenza: $a = 15.8 \text{ mW}^{1/2} \text{ k}\Omega^{-1}$ da cui $a = 16.0 \text{ mW}^{1/2} \text{ k}\Omega^{-1}$.
- Ordinata all'origine: $-b = -877 \text{ mW}^{3/2}$ da cui $b = 877 \text{ mW}^{3/2}$.

Quesito n. 6.

La funzione $\Phi = (aP)/(P^{3/2} + b)$ ha un massimo per $P = (2b)^{2/3}$, pertanto, per il LED degli esempi, si ottiene $P_{\max} = 145.7 \text{ mW}$ per l'opzione A e $P_{\max} = 145.4 \text{ mW}$ per l'opzione B. Il risultato è in discreto accordo con la distribuzione dei punti sperimentali del Grafico Q3.

APPENDICE 1

FASCE DEI VALORI ATTESI PER OGNUNO DEI GRAFICI RICHIESTI

Grafico Q.2

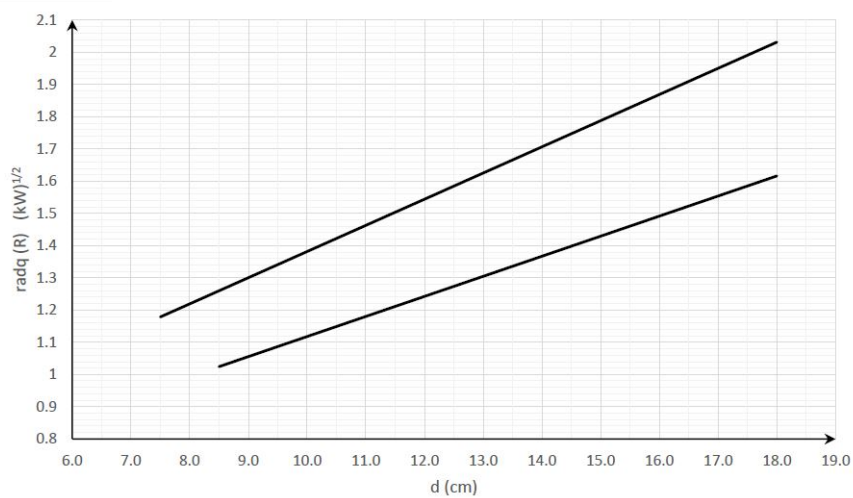


Grafico Q.3

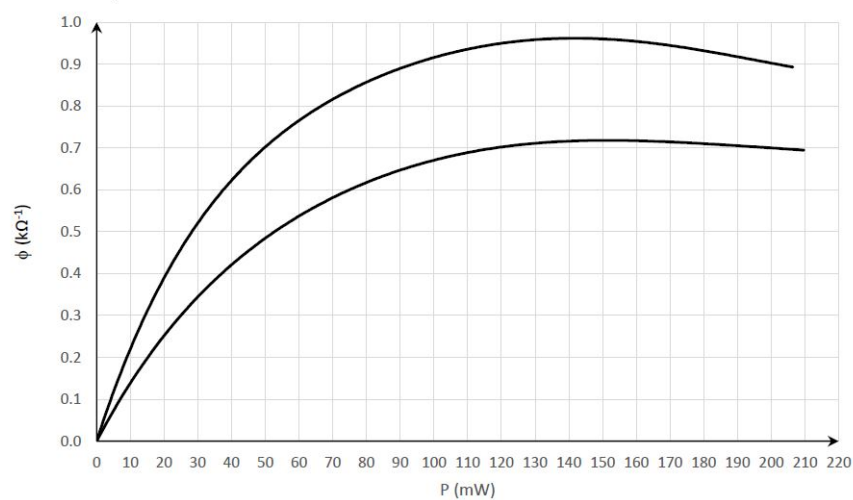


Grafico Q.4

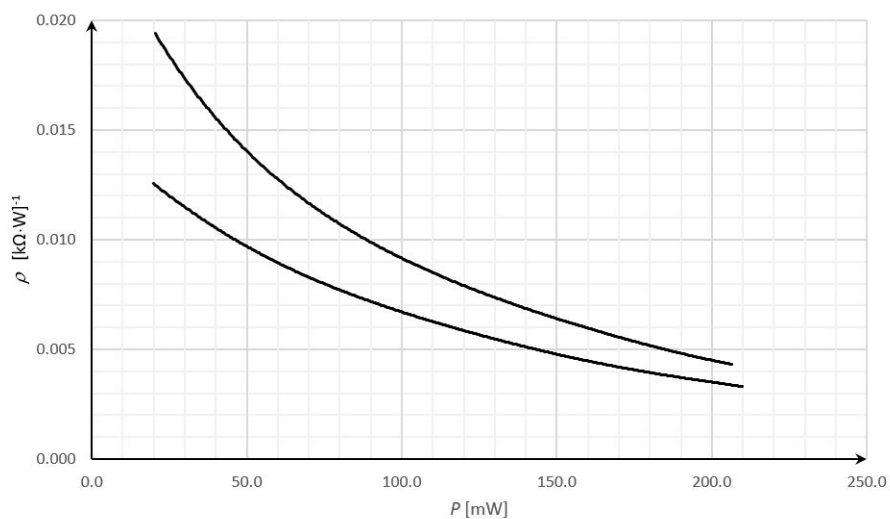


Grafico Q.5 – opzione A

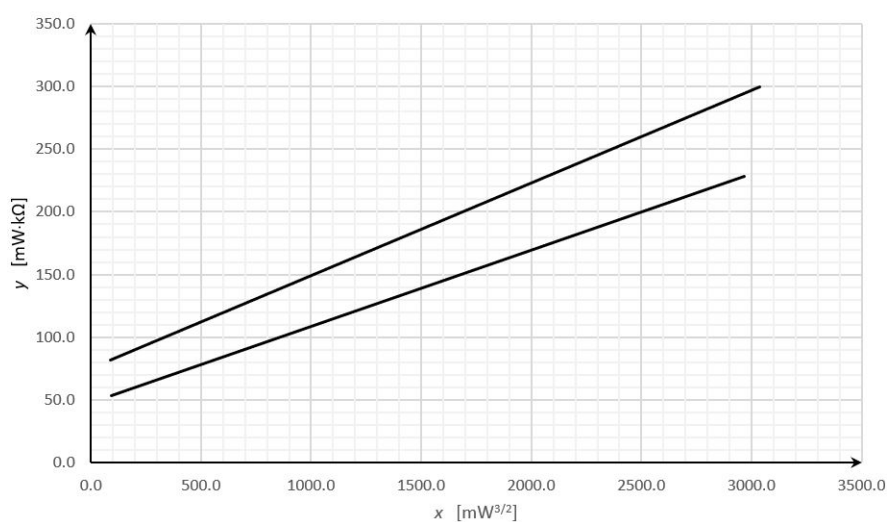
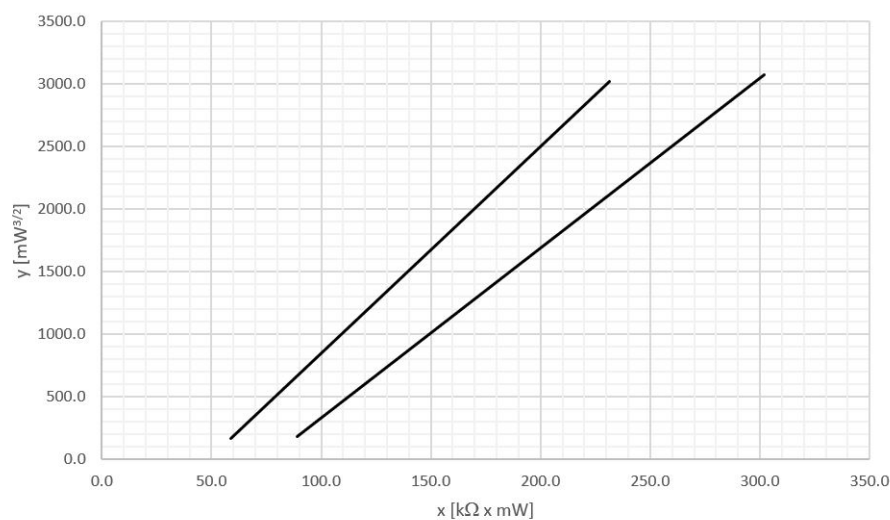


Grafico Q.5 – opzione B



Materiale elaborato dal Gruppo



PROGETTO OLIFIS

Segreteria dei Campionati Italiani di Fisica

E-mail: segreteria@olifis.it - WEB: www.olifis.it



NOTA BENE

È possibile utilizzare, riprodurre, distribuire, comunicare al pubblico questo materiale alle due seguenti condizioni: citare la fonte; non usare il materiale, nemmeno parzialmente, per fini commerciali.